

# 纤维深层过滤器的最新发展及应用

## The Latest Development and Application of Depth Fibrous Filters

北京化工大学机械工程系 朱俊杰 金瑶 范德顺 黄钟  
东北电力学院 刘凡清 陈宇

### 摘要

本文综述了国内外纤维深层过滤器的最新发展,重点介绍了几种新型纤维深层过滤器的结构特点及工业应用。

### ABSTRACT

In this article, the latest development of depth fibrous filters in the world is introduced, especially the structure characteristics and industrial application of some new styles of fibrous filters.

**关键词:**纤维深层过滤器、深层过滤、粗粒化。

**Key Words:** depth fibrous filters; depth filtration; coalescence.

深层过滤与利用筛网或纤维织物表面过滤的介质过滤不同,它是利用介质间的孔隙进行过滤的过程,这一过程的特征是过滤作用产生于介质内部,同时每个孔隙具有从流经它的悬浮物中截留颗粒的可能性。

在深层过滤中,粒状滤粒应用最早、最广泛。主要是石英砂、无烟煤、石榴石、平板石、活性炭,最近又有陶粒、玻璃珠、聚乙烯发泡塑料珠等。粒状滤料由于反冲洗后的水力筛分作用,使滤料形成沿水流方向粒径由小到大分布,过滤效率由高而低的不合理现象,导致部分床层不能充分发挥过滤效果,过滤器的滤速、过滤效率和截污容量都难以得到大幅度的提高。为了克服这一缺点,人们采用多层滤料,在一定程度上提高了滤速和床层的截污容量,延长了过滤周期。然而,在实际应用中,多层滤料深层过滤

器也存在着不足,如滤料来源受限制,加工复杂,容易发生严重混层和流失现象,从而限制了这一技术的应用。总之,采用粒状滤料的传统深层过滤技术的发展,始终是围绕着改变滤料的粒径、密度的方法来调整滤速、过滤效率、截污容量和清洗方法,通过对过滤机制的剖析表明,这种方法具有一定局限性<sup>[1]</sup>。

以软填料——纤维代替传统的粒状滤料是深层过滤技术发展史上一种崭新的思维和尝试,由于纤维的巨大比表面积纤维床层的高孔隙率等特点,应用于深层过滤,已取得了很好的经济效益和社会效益,显示出潜在的巨大生命力,具有广阔的开发前景。

早期的纤维深层过滤中纤维排列方式有两种:杂乱排列和规则排列。前者如毡层,后者如线绕式滤心。主要不足之处是缺乏有效的清洗手段,毡层一般形成一个整体相互缠结在一起,床层内部不容易清洗;线绕式滤芯的截污容量较低,反洗时须消耗大量的能量。

随着合成纤维工业的发展,可供选择的纤维种类和数量越来越多,纤维的物理、化学性能也有了很大的提高。主要有聚酯纤维、丙纶纤维、玻璃纤维、尼龙、碳纤维等。同时,由于广大科技工作者的努力,不断革新床层结构,使其容易反洗再生,使纤维深层过滤器的应用日益广泛。本文在查阅了大量的国内外纤维深层过滤器专利及文献的基础上,着重介绍下述几种过滤器的结构特点和工业应用,为在我国尽快得到推广提供必要的依据。

### 1. 纤维球过滤器<sup>[2]</sup>

八十年代初,日本尤尼奇卡公司首先研制成功了纤维球过滤器。具体做法是:用热处理方法将 15~20mm 长的聚酯纤维进行卷曲加工,使纤维成为纤维块,见图 1—a,因纤维块呈球形,故在国内通称纤维球,直径为 10~30mm。若在其中加入活性碳粒,使可同时去除水中微量悬浮物和微量有机物,见图 1—b。试验表明,纤维球过滤速度约为砂滤器的 5~8 倍,能有效地去除 0.5~10mm 的微小颗粒物,经简单反冲洗即可重复使用。



图 1 卷曲纤维球



图 2 纤维球剖面示意图

清华大学环境工程研究所从 1983 年起也对纤维球滤料进行了试验研究。其结构如下:取一束短纤维在其中心结扎即形成富有弹性的球状,纤维丝基本上呈幅射状;球心处最密实,见图 2。两种纤维球的对比试验的结果表明,日本纤维球水头损失较小,但水中悬浮物容易穿透滤层,经一定时间后出水水质变差;清华大学纤维球水头损失较大,悬浮物不易穿透滤层,出水水质一直比较好,过滤周期长,但在过滤后期,水头损失急剧上升。采用清华大学纤维球<sup>[3]</sup>,当滤层为 1 米厚,流速为 20~30m/n 时,水头损失约 0.03~1.60m,过滤后悬浮物含量 < 5mg/L,截污容量一般为 1.2~3.2kg/m<sup>3</sup>。气水联合反洗时,反洗水强度 8~12L/m<sup>2</sup>S,反洗气强度 > 40L/m<sup>2</sup>s,反洗时间 6~7 分钟,各项指标均优于石英砂过滤器。

纤维球也有缺点,因纤维丝卷曲,相互缠结在一起所形成的球比较硬,填充形成的床层具有颗粒床层的结构特点,球相互之间无联系,空

隙比较大,故容易被悬浮液穿透。反洗时,纤维球内部的积泥也不容易反冲洗干净。

### 2. 刷形过滤器<sup>[4]</sup>

瑞典人 Hans Muller 在七十年代中期发明的刷形过滤器如图 3、4、5 所示。将纤维长丝制成纤维束,每束纤维可粘或压在支撑板上,长度根据过滤的流体和效率来定,一般为 1.5~30cm。为了提高过滤效率和反洗效果,纤维之间也可编织起来。

过滤时,流体压缩纤维束,形成滤层,使通过的液体或气体得到过滤。反洗时,从相反的方向通入反洗液,压紧的纤维束伸展,易于去除其中的杂质。

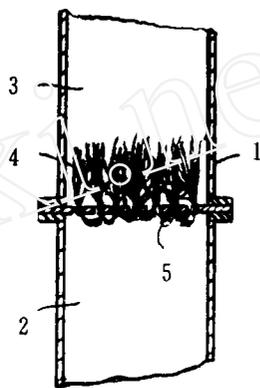


图 3

1—筒体 2—2 滤液出口 3—悬浮液入口  
4—纤维束 5—支撑板

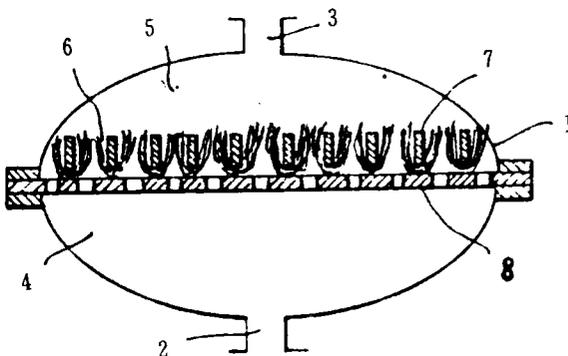


图 4

1—筒体 2—2 滤液出口 3—悬浮液入口 4—出口  
室 5—进口室 6—纤维束 7—压紧板 8—支撑板

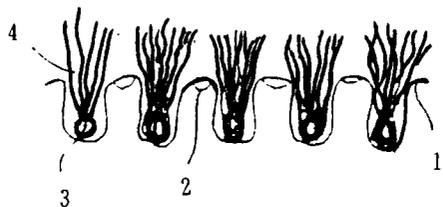


图 5

1—齿形支撑板 2—小孔  
3—压紧棒 4—纤维束

该过滤器的主要特点是：结构简单，操作方便。主要不足：因纤维呈刷状，容易缠在一起，给反洗带来困难，纤维床层一般较薄，过滤性能不稳定，故容易形成表面过滤。

### 3. LLY 高效过滤器<sup>[5]</sup>

LLY 高效过滤器是由吉林飞特水处理公司研制成功的。它是以合成纤维(丙纶长丝)为

滤料，纤维直径  $50\mu\text{m}$ ，将重约 100 克的丙纶长丝制成长约 1 米的纤维束，纤维经膨化处理。将纤维束的一端悬挂在多孔板的下面，称为固定端，纤维束的另一端悬挂一定重量的管形重坠，称为自由端。管形重坠的作用是防止过滤器运行或清洗时纤维互相缠绕或乱层，另外，由于它们均匀地排列在过滤器的下部，也可起到配水和配气作用。在纤维的周围或内部装有密封式胶囊，将过滤器分隔为加压室和过滤室，根据过滤器的直径不同，胶囊装置分为外囊式(图 6— a)和内囊式(图 6— b)两种，为了保障纤维压室密度的均匀性，内囊式可设置一个或多个胶囊。过滤时，加压室充水可提高过滤精度及过滤效率，反洗时将加压室内的水放掉，纤维恢复至松散状态，可提高清洗效果。

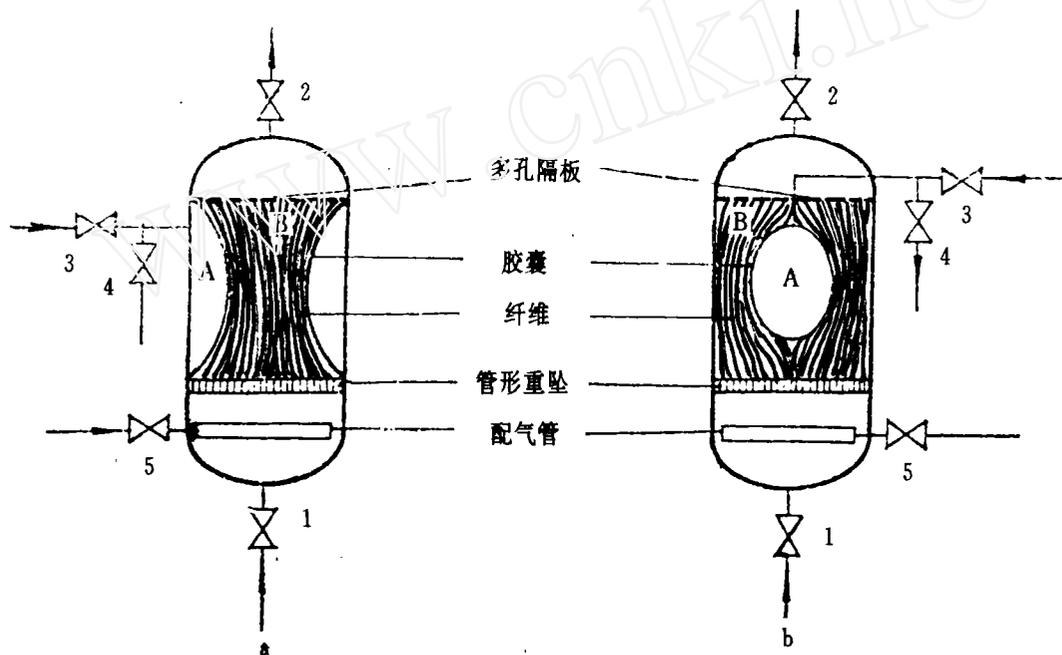


图 6

图 a 外囊式过滤器

图 b 内囊式过滤器

A—加压室 B—过滤室

1—进水阀门； 2—出水阀门； 3—加压室充水阀门； 4—加压室泄水阀门；  
5—压缩空气阀门。

用充水胶囊压缩纤维床层，易于调节过滤效率，截污容量和过滤阻力，并能使得过滤时在

纤维床层内沿水流方向形成由大到小的孔隙，以充分发挥全部纤维滤料截留悬浮物的作用，

从而提高截污容量。据资料介绍,经混凝的水,浊度为 20~30FTU,在 30m/h 的流速下,出水浊度可控制在零度,能有效地去除水中悬浮物、胶体、大分子有机物、细菌,压头损失 0.1~0.2MPa,截污容量 4~6kg/m<sup>3</sup>,反洗时间 20~60 分钟,可在 100℃ 水温条件下工作并具有良好的耐化学药品性。

#### 4. 旋压式纤维过滤器<sup>[6]</sup>

英国 Eric C. Green 公司研制的一种纤维过滤器结构见图 7。纤维一般采用尼龙、聚酯、丙纶等,纤维直径 1~50μm,长度 0.3~2m,将纤维两端编织起来制成薄片,缠在接头 10、11 上,再用夹紧或粘接的方法固定。

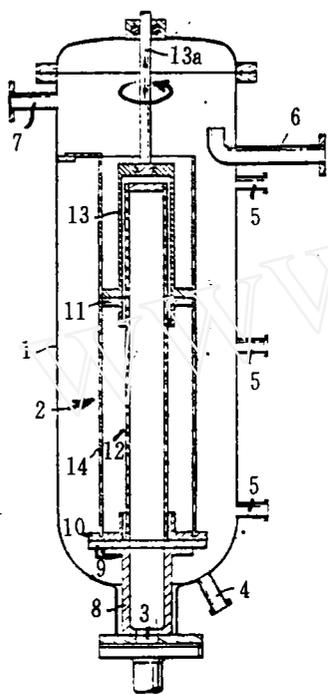


图 7

- 1—筒体;2—沉淀区;3—悬浮液进口;
- 4—排渣口;5、6—滤液出口;7—溢流口;
- 8—支撑管;9—固定盘;10—固定接头;
- 11—活动接头;12—内筒;13—顶盖;
- 13a—活塞杆;14—外筒。

过滤时,通过传动机构推动活接头 11 向下滑动,并旋转一定角度使纤维缠绕在内筒 12 上,形成滤层。含有两种不溶液体的悬浮液通过

床层时,固体杂质被截留,纤维还具有粗粒化作用,使细小液滴凝聚成大液滴,在沉淀区依靠重力分离后分别排出。反洗时,活接头上升,松开纤维,反方向加入清洗液,活接头 11 便在一定范围内旋压,能很快清除床层中的固体杂质。

由于纤维对液滴的凝聚效果明显高于粒状材料,该装置可用于含有微量固体杂质的乳油液的分离,如从含油废水中分离原油及油制品,通常油含量 5~750mg/kg,固体含量 5~500ppm;也可用于油中水的分离。研究者进行的油水分离试验数据也表明,过滤器具有良好的过滤和粗粒化性能。

#### 5. HW 深层过滤器<sup>[7]</sup>

这种过滤器是由英国 Exeter 大学分离中心研制的,见图 8。其特点是采用活塞压缩纤维介质,过滤介绍选用富有弹性的纤维材料,如羊毛、碳纤维等,纤维直径 1~10μm,滤层厚度 20~25cm。

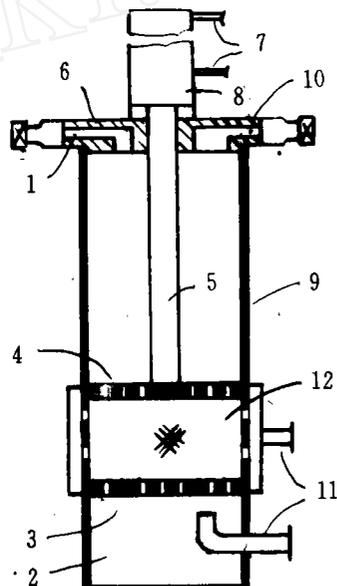


图 8

- 1—滤液入口;2—滤液出口;3—孔板;
- 4—活塞;5—活塞杆;6—顶盖;
- 7—液压管 8—液压缸;9—筒体;
- 10—反洗液出口;11—反洗液入口;
- 12—介质

过滤时,活塞压缩过滤介质形成滤层,活塞

对纤维的压缩程度决定可滤除颗粒的细度。反洗时,从底部通入反洗液,活塞上升并在一定高度振荡,可加快滤层的再生速度,并节省反洗液。

应用 HW 过滤器,研究者曾用多种悬浮液对其过滤性能和自洁能力进行过测试,效果很好。从过滤葡萄酒酵母悬浮液的试验数据可以看出,采用碳纤维,滤层厚度 0.23m,孔隙度 0.88,流速 14.8m/h,对 3.1 $\mu\text{m}$  以上的颗粒过滤效率高达 99%。由于滤层密度可调节,故可保持滤液质量的稳定。碳纤维还具有生物和化学方面的惰性及特殊的强度,在 350 $^{\circ}\text{C}$  极易氧化的环境仍能保持稳定;在一般环境中,2000 $^{\circ}\text{C}$  时仍可保持稳定,可以过滤高温有腐蚀性的液体和已熔化的金属和聚合物,因此在医学及化工方面有着广泛的应用。

### 6. 外加电场的纤维过滤器<sup>[8]</sup>

这是由美国人 Norman R. Robison 发明的纤维过滤器其结构见图 9。滤料最好是选用纤维织品制成的环形薄片,多孔电极板 6、7 则采用不锈钢网或含有不锈钢网的织物,它们与纤维织物一起在滤层中交替排列,6、7 分别与不锈钢网 10、15 接触,10、15 又与直流电源的正、负极相连。

过滤时,10、15 接通直流电源,通过导管 13 在环形腔中加入高压液体,推动活塞压缩介质。反洗时断电,将环形腔卸压,反洗液反向流动清除介质。

由于在过滤介质中应用了电场,通过电场的极化作用,使得悬浮液中颗粒凝结成较大的粒子而易于去除,过滤的颗粒尺寸可小到 0.2 $\mu\text{m}$ ,达到了反渗透的质量要求,而且成本很低。

过滤和反洗是一般过滤器的两个基本操作,对纤维过滤器亦是如此。过滤时,希望纤维床层处于压实状态;反洗时,则要求处于膨松状态,这两种要求是一对矛盾,纵观现有的纤维过滤器,都在努力试图解决这一对矛盾,在纤维的压紧和膨松结构及排列方式上各有特点,主要的应用领域也有所不同。

在纤维床层的压紧方式上,纤维球过滤器和刷状过滤器主要领先流体压力,形成滤层的孔隙率较高,容易被穿透,若要提高过滤效率,

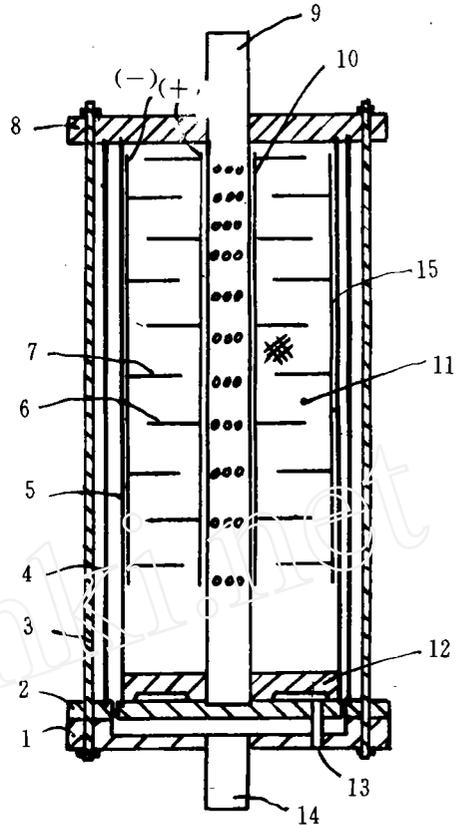


图 9

- 1—法兰;2—支撑板;3—螺杆;
- 4—筒体;5—内筒;6、7—多孔电极板;
- 8、法兰;9—出口管;10—不锈钢网;
- 11—介质;12—活塞;13—导管;
- 14—进口管;15—不锈钢网。

只有增加床层高度;对于刷状过滤器,过高的床层必然影响反洗效果。LLY 高效过滤器也是利用水压来压紧纤维,但设计很巧妙,采用充水弹性胶囊在四周均匀挤压纤维,形成的床层孔隙率沿悬浮液流动方向由大变小,有利于增大床层的截污容量,降低操作压力,通过改变胶囊的充水量来改变床层的孔隙率,由于受胶囊弹性、强度的限制,床层孔隙率不可能很低,一般也采用增高床层的方法来提高过滤效率。对于机械加压的纤维过滤器,如 HW (下转第 45 页)

结构,特点和应用范围。代表了国际上90年代初期的先进水平。为结合我国实际,研制新型筒式过滤器提供了借鉴。

#### 主要参考文献:

[1]高桥研二 产业用フィルタ—ろ新技术(日本),1989.5

[2]平井利久 公开特许公报(4—322783),1992,11,12

[3]松岛正 公开特许公报(4—326904),1992,11,16

[4]宫地清 公开特许公报(4—305202),1992,10,28

(收稿日期:1996—03—08)

作者:杨德武,系主任,工作单位:沈阳化工学院化机系,地址:沈阳市爱工南路11号,邮编:110021。

编辑:袁小玲

(上接第7页)深层过滤器,旋压或纤维过滤器,因为机械传动的压力较大,可通过降低床层孔隙率来提高过滤效率,不必增加床层高度;但截污容量却受到限制,而且容易形成表面过滤。外加电场的纤维过滤器借助活塞压缩和电场的联合作用,故也能达到很高的过滤效率。

各种纤维过滤器的反洗方式各不相同,最简单的是纤维球过滤器和刷状过滤器,利用反洗水、气膨松床层,但刷状过滤器内的纤维如果缠绕起来,会严重影响反洗效果,纤维球内密实区内的积泥也不易冲净。LLY 高效过滤器反洗时,受胶囊充水量的限制,床层膨松程度不大,若要反洗干净,则需要大量水、气,而且胶囊反复充水、放水,存在疲劳破裂的问题。机械压缩纤维过滤器反洗方式的优点很突出,反洗时,可通过传动机构振荡纤维,对于介质中污物的去除非常有效,甚至不用压缩空气就可得到满意的清洗效果,但容易磨损纤维。

在工业应用上,LLY 高效过滤器和纤维球过滤器具有较好的截污容量,设备易于大型化,与粒状滤料深层过滤器相比,具有重量轻,占地面积小,流速快、过滤效率高等优点,是其更新换代产品。实际上,LLY 高效过滤器已替代砂滤器广泛用于电厂、自来水厂等行业的水处理,取得了明显的经济效益。HW 深层过滤器,外加电场的纤维过滤器,设备较小,对细小的微粒有很好的过滤效率,可达到反渗透滤液的质量要求,而且设备成本、操作、维修费用都很低,可广泛地用于电子、制药等行业。旋压式纤维过滤器

作为粗粒化装置用于石油化工行业,处理含油废水,或精制油品也取得了良好的效果。

深层纤维过滤器的应用实践表明,纤维床层不仅对悬浮物、胶体、细菌等具有极高的去除效果,而且对水中的铁、锰、胶硅,甚至溶解状态的有机物也显示出明显的净化功能,因而在石油化工、电子、轻工、医药、食品等行业均具有广阔的应用前景,推广使用后,必将产生可观的经济效益和社会效益。

#### 参考文献

[1]钱克刚,深层过滤的回顾与展望——纤维过滤剖析,《工业水处理》,vol13, No2, 1993。

[2]张锡辉等,纤维球过滤理论与应用,《工业废水处理》,中国建筑工业出版社。

[3]查新报告及综述,93LLY—高效过滤器应用研讨会资料集,吉林飞特水处理公司。

[4]US Patent Sep. 11, 1979:4167482。

[5]姚继贤等,LLY 高效过滤器的机理及试验研究,《东北电力学院学报》No. 2, 1990。

[6]US Patent Dec. 29, 1992:5174907。

[7]US Patent Oct. 11, 1988:4776962。

[8]US Patent Sep. 21, 1982:4350590。

(收稿日期:1996—01—22)

作者:朱俊杰,硕士研究生,单位:北京化工大学机械工程系化工机械教研室,地址:北京朝阳区北三环东路15号,邮编:100029。

编辑:雷华平